

ANALISIS PENGARUH PENERAPAN MIMO PADA SISTEM OFDM UWB MELALUI KANAL SALEH-VALENZUELA

Ni Putu Wahyuni¹, Dharu Arseno², Rina PudjiAstuti³

Jurusan Teknik Elektro, Institut Teknologi Telkom

Abstrak

Ultrawideband (UWB) merupakan teknologi yang beroperasi pada frekuensi 3,1 GHz – 10,6 GHz dan memiliki bandwidth transmisi lebih besar dari 500 MHz. Tahun 2002, group standarisasi 802.15.3a mengusulkan *standard* IEEE untuk *physical layer* pada komunikasi UWB adalah *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM). Teknik OFDM pada UWB mampu mengatasi masalah *selective fading* yang dapat merusak sinyal informasi. UWB sendiri memiliki banyak keuntungan antara lain data rate yang tinggi, path loss yang rendah, serta daya kirim yang rendah dan low interference.

Dengan daya kirim yang rendah, sistem UWB lebih cocok digunakan pada kanal *indoor*. Kondisi kanal *indoor* yang memiliki lebih banyak komponen *multipath*, menyebabkan UWB membutuhkan sistem tambahan agar dapat lebih tahan terhadap kondisi kanal multipath ini. Multiple Input Multiple Output (MIMO) telah terbukti meningkatkan performansi sistem dalam kondisi kanal *multipath*.

Pada tugas akhir ini dilakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh dari penerapan MIMO pada sistem OFDM UWB melalui kanal Saleh-Valenzuela. Pada penelitian ini, akan digunakan variasi jumlah antena *transceiver* dan akan membandingkan performansi dua jenis detektor, Zero Forcing (ZF) dan V-BLAST.

Dari hasil simulasi dapat diketahui bahwa dengan penggunaan MIMO memberikan perbaikan performansi sebesar 4,5 dB – 6 dB dibandingkan dengan MIMO pada sistem OFDM UWB. Dan dengan menggunakan MIMO 2x4 memberikan *diversity gain* sebesar 3 – 3,5 dB untuk mencapai BER 10^{-4} jika dibandingkan dengan MIMO 2x2. Serta untuk perbandingan dua detektor, V-BLAST memiliki performansi yang lebih baik bila dibandingkan dengan ZF yaitu sekitar 3,1 – 3,6 dB untuk BER 10^{-3} .

Kata kunci : MIMO, OFDM UWB, Saleh-Valenzuela, V-BLAST, ZF.

Abstract

Ultra-wideband (UWB) is a wireless technology application that operates on 3,1 – 10,6 GHz frequency and has transmission bandwidth bigger than 500 MHz. In 2002, *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM) is purposed by 802.15.3a as the IEEE standard for physical layer on UWB communication. OFDM method in UWB is able to overcome *selective fading* that can damage information. UWB has many advantages such as high data rates, low path loss, low power transmit, and low interference.

With low power transmit, UWB system is more appropriate to use in indoor channel. Indoor channel condition that has more multi-path component causing the UWB system needs addition system so it can robust more towards the multi-path channel condition. Multiple Input Multiple Output (MIMO) had already proven can increase the system performance in multi-path channel condition.

In this final project is done experiment to know the effect of MIMO application on OFDM UWB system in Saleh-Valenzuela channel. In this research, the variation number of transceiver is used and comparing the performance of two detectors, Zero Forcing (ZF) and V-BLAST.

From the simulation result can be noticed that by using MIMO gives better performance than without MIMO on OFDM UWB by giving 4,5 - 6 dB on BER 10^{-4} . And by using MIMO 2x4 can gives performance improvement than MIMO 2x2 by giving 3 – 3,5 dB diversity gain to reach BER 10^{-4} . And about the comparison of two detectors, V-BLAST has better performance than ZF that around 3,1 – 3,6 dB for BER 10^{-3} .

Key word : MIMO, OFDM UWB, Saleh-Valenzuela, V-BLAST, ZF.

I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi informasi menuntut sistem komunikasi *wireless* untuk menyediakan layanan data kecepatan tinggi (*high datarate*) dengan QoS yang *reliable*. *Ultra wideband* (UWB) berpotensi untuk memenuhi permintaan tersebut. UWB adalah sistem komunikasi jarak pendek yang mempunyai bandwidth yang sangat lebar, agar dapat dikategorikan sebagai komunikasi ultra wideband maka syarat lebar *bandwidth* 20% dari frekuensi tengahnya atau lebih besar dari 500MHz. Sistem komunikasi UWB sendiri telah diajukan oleh *Federal Communication Commission* (FCC) pada tahun 2002 untuk beroperasi pada spektrum frekuensi 3.1 GHz - 10.6 GHz .

Teknologi UWB telah muncul sebagai teknologi yang dapat digunakan untuk aplikasi jaringan *wireless* dengan kecepatan data yang sangat tinggi. Karena kemampuannya ini, maka IEEE membentuk group standarisasi 802.15.3a yang bertujuan untuk menetapkan *standard*

physical layer pada komunikasi UWB. Tahun 2002, group standarisasi 802.15.3a mengusulkan *standard* IEEE untuk *physical layer* pada komunikasi UWB adalah *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM). Teknik OFDM ini digunakan untuk mengatasi adanya kondisi kanal yang bersifat *frequency selective*. Dengan teknik OFDM, *bandwidth* sistem UWB yang lebar akan dibagi menjadi beberapa *subcarrier* sehingga *bandwidth* setiap *subcarrier* lebih kecil dibandingkan dengan *bandwidth coherent* kanal.

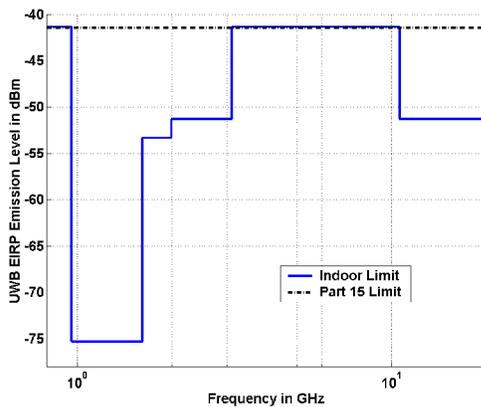
Namun pada kenyataannya, tidak ada teknologi yang sempurna. Hal ini dapat disebabkan oleh kondisi kanal propagasi yang sering berubah-ubah. Salah satu cara untuk mengatasi pengaruh kanal propagasi yang buruk tersebut yaitu dengan memperbaiki metode pengiriman informasi dan proses penerimaannya. Banyak cara yang dapat dilakukan, salah satunya yaitu dengan menggunakan MIMO (*multiple input multiple output*). Jenis MIMO yang digunakan pada tugas akhir ini

adalah *spatial multiplexing* yang mampu memberikan peningkatan laju data untuk bandwidth yang sama. Pada Tugas akhir ini diteliti mengenai pengaruh penerapan MIMO-*spatial multiplexing* pada sistem OFDM UWB melalui kanal Saleh-Valenzuela.

II. LANDASAN TEOR

2.1 Sistem Komunikasi Ultra Wideband (UWB)

Sistem komunikasi *ultra wideband* (UWB) merupakan sistem komunikasi jarak pendek yang mempunyai *bandwidth* yang sangat lebar, agar suatu sistem dapat dikategorikan sebagai komunikasi UWB maka syaratnya adalah lebar *bandwidth* lebih besar dari 500MHz^[14]. Sistem komunikasi *ultra wideband* sendiri telah diajukan oleh *Federal Communication Commission* (FCC) pada tahun 2002 untuk beroperasi pada spektrum frekuensi 3.1-10.6 GHz dengan maksimum *power spectral density* yang diijinkan sebesar -41.3 dBm/MHz^[10].



Gambar 2.1 Spektrum frekuensi *ultra wideband*

Terdapat dua macam format *physical layer* yang diajukan sebagai *standard* untuk *physical layer* UWB, yang pertama dengan cara mengirimkan pulsa dengan periode yang sangat pendek untuk membawa informasi dan pendekatan yang lain adalah dengan menggunakan teknik *multicarrier*, masing-masing teknik mempunyai keuntungan dan kelemahan masing masing. Namun pada tugas akhir ini yang akan dibahas adalah teknik *multicarrier*. Salah satu jenis teknik modulasi *multicarrier* yang akan digunakan adalah dengan *Orthogonal Frekuensi Division Multiplex* (OFDM).

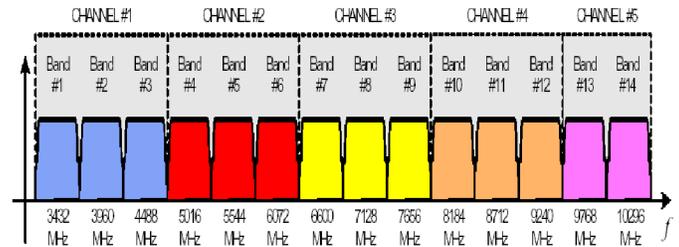
2.2 Prinsip Dasar Multiband OFDM UWB

Penerapan sistem OFDM pada spektrum UWB yang tersedia (3.1 – 10.6 GHz) menggunakan pendekatan secara *multiband*, yaitu membagi-bagi spektrum yang tersedia tersebut menjadi beberapa band, dimana masing-masing band membawa sinyal OFDM. Pendekatan ini disebut sebagai *Multiband OFDM*^[11].

Multiband OFDM merupakan salah satu kandidat yang diajukan sebagai *kandidate physical* untuk standar *physical layer* IEEE 802.15.3a. MB-OFDM UWB membagi spektrum frekuensi UWB menjadi 14 sub band, masing masing subband menduduki spektrum sebesar 528

MHz^[10] sesuai dengan minimum *bandwith* yang telah ditetapkan oleh FCC.

Pembagian spektrum tersebut dapat dilihat pada gambar di bawah ini :



Gambar 2.2 Pembagian spektrum Multiband OFDM UWB

Sistem ini disebut sebagai MB-OFDM UWB dikarenakan OFDM pada sistem ini bekerja pada *bandwidth* yang lebih besar dibandingkan dengan sistem OFDM konvensional. Sistem MB-OFDM UWB dapat memenuhi layanan dengan *data rate* 55 Mbps sampai dengan 480Mbps^[10]. Karena dapat melayani layanan dengan *data rate* tinggi maka sistem MB-OFDM UWB dapat diterapkan dalam berbagai macam layanan aplikasi dengan *data rate* tinggi misalnya *video streaming* dan *wireless USB*.

Terdapat banyak keuntungan dengan menggunakan teknik MB-OFDM UWB contohnya dapat mengatasi adanya *multipath*, mempunyai *architecture* yang lebih mudah, meningkatkan ketahanan terhadap adanya interferensi dari sistem lain, lebih *flexible* dalam menyesuaikan penggunaan frekuensi sesuai dengan regulasi yang telah ada, dengan adanya OFDM maka *inter symbol interference* (ISI) dapat diatasi.

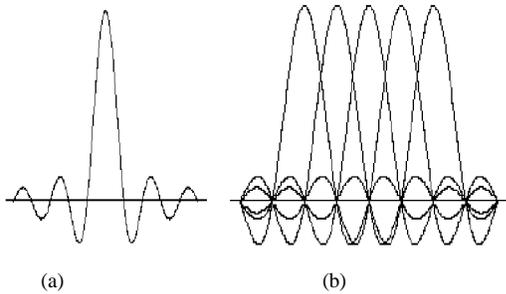
2.3 Prinsip dasar Ortogonalitas^[3]

Orthogonal berarti fungsi *cross correlation* antar sinyal sama dengan nol. Hal ini berarti jika dua atau lebih sinyal dengan spasi frekuensi adalah *orthogonal*, maka sinyal tersebut masih dapat dipisahkan lagi dengan menggunakan *filter* dan *demodulator*. Pada OFDM, sinyal *carrier* diatur sedemikian sehingga saling *overlap* tetapi masih dalam kondisi *orthogonal*. Sehingga meskipun *overlap* sinyal data masih dapat dipisahkan. Spasi frekuensi minimal antar sinyal *carrier* yang masih *orthogonal* adalah $1/T_s$, dimana T_s adalah durasi satu simbol. Secara matematis, *orthogonal* dinyatakan dengan persamaan :

$$\int_{\tau}^{\tau+T_s} \psi_p(t) * \psi_q(t) dt = K \quad \text{untuk } p = q$$

$$= 0 \quad \text{untuk } p \neq q$$

Spektrum yang saling *orthogonal* dapat digambarkan sebagai berikut :

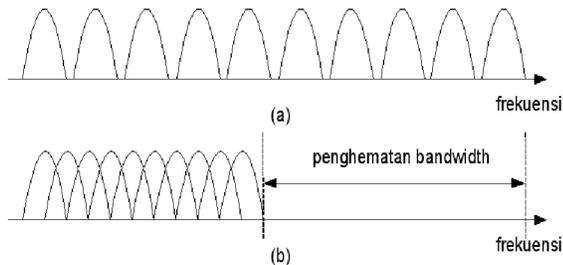


Gambar 2.3 Spektrum OFDM: (a) Spektrum satu *carrier* OFDM (b) Spektrum 5 *carrier* OFDM pada frekuensi tengah masing-masing *carrier* tidak terjadi interferensi.

2.4 Prinsip Dasar OFDM ^{[2][5]}

OFDM merupakan metode modulasi di mana banyak simbol dari pengguna ditransmisikan secara paralel menggunakan frekuensi pembawa yang berbeda. Frekuensi pembawa tersebut memiliki spektrum yang *overlap*, namun bentuk gelombang sinyal dipilih sedemikian hingga masing-masing spektrum akan saling *orthogonal*. Sifat keorthogonalan dari tiap frekuensi pembawa ialah bahwa tiap frekuensi pembawa tersebut merupakan kelipatan bulat dari laju simbol. Sehingga untuk kanal yang ideal, diharapkan tidak terdapat interferensi antar *carrier*. Kebanyakan, sistem OFDM dirancang sedemikian rupa, sehingga tiap *subcarrier* memiliki bandwidth relatif kecil untuk mengalami *frequency-flat fading*.

OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) merupakan teknik modulasi *multicarrier*, dimana antar *subcarrier*nya satu dengan yang lain saling ortogonal. Karena sifat ortogonalitas ini, maka antar *subcarrier* yang berdekatan bisa dibuat *overlapping* tanpa menimbulkan efek *intercarrier interference* (ICI). Hal ini akan membuat sistem OFDM mempunyai efisiensi spektrum yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan teknik modulasi *multicarrier* konvensional, seperti yang ditunjukkan oleh gambar 2.4



Gambar 2.4 : Spektrum *MultiCarrier* (a) Tidak *Overlap* (b) *Overlap Orthogonal*

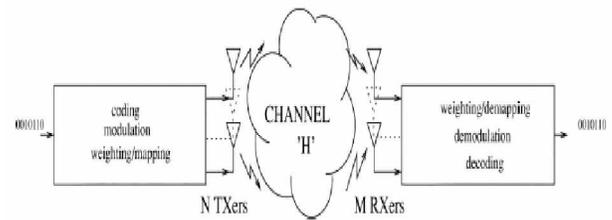
Konsep dari OFDM adalah membagi *data rate* sinyal informasi *wideband* menjadi deretan data paralel dengan *data rate* yang lebih rendah sehingga akan didapatkan deretan paralel sinyal dengan *data rate* rendah (*narrowband*), kemudian data-data paralel tersebut dimodulasi dengan *subcarrier* yang saling *orthogonal*. Hal ini merupakan salah satu keuntungan dari penggunaan OFDM, karena kanal yang semula bersifat *frequency selective fading* akan dirasakan seperti kanal

flat fading oleh masing-masing *subcarrier*, sehingga *distorsi* sinyal akibat perlakuan kanal *multipath fading* menjadi berkurang.

Penggunaan *discrete fourier transform* (DFT) pada sistem OFDM akan mengurangi tingkat kompleksitas sistem pengirim dan penerima. Dengan penggunaan DFT maka tidak diperlukan banyak *osilator*, *mixer* dan *filter* untuk masing-masing *subcarrier*. DFT digunakan untuk menghasilkan *subcarrier* yang ortogonal, untuk mempersingkat waktu komputasi dapat diimplementasikan algoritma *Fast Fourier Transform* (FFT).

2.5 Prinsip Dasar MIMO

MIMO (*Multiple Input Multiple Output*) merupakan sistem yang terbentuk oleh penggunaan *multiple* antenna baik di sisi pengirim (M antenna) maupun penerima (N antenna). Pada tiap-tiap antenna *transmitter* akan dikirimkan sinyal informasi yang nantinya akan diterima oleh semua antenna *receiver*. Sistem MIMO sendiri menawarkan tiga keuntungan yaitu *diversity gain* yang digunakan untuk meningkatkan kehandalan link, *multiplexing gain* yang digunakan untuk meningkatkan *data rates*, serta *array gain* yang digunakan untuk meningkatkan SNR. Oleh karena itu, sistem MIMO sangat tepat untuk digunakan pada sistem *wireless* saat ini yang menuntut peningkatan *data rates* serta kualitas layanan.



Gambar 2.5 Representasi fisik sistem MIMO

Secara matematis matriks kanal pada sistem MIMO (N-antenna *transmit* dan M-antenna *receive*) secara umum dapat dituliskan sebagai berikut :

$$H = \begin{bmatrix} h_{1,1} & h_{1,2} & \dots & h_{1,N} \\ h_{2,1} & h_{2,2} & \dots & h_{2,N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ h_{M,1} & h_{M,2} & \dots & h_{M,N} \end{bmatrix}$$

dimana $h_{m,n}$ menyatakan respon kanal dari antenna *transmit* ke-N ke antenna terima ke-M. Sehingga jika ada sinyal tranmit $x = [x_1 \ x_2 \ x_3 \ \dots \ x_M]^T$, maka persamaan sinyal *receive* y adalah $y = [y_1 \ y_2 \ y_3 \ \dots \ y_N]^T$ dimana

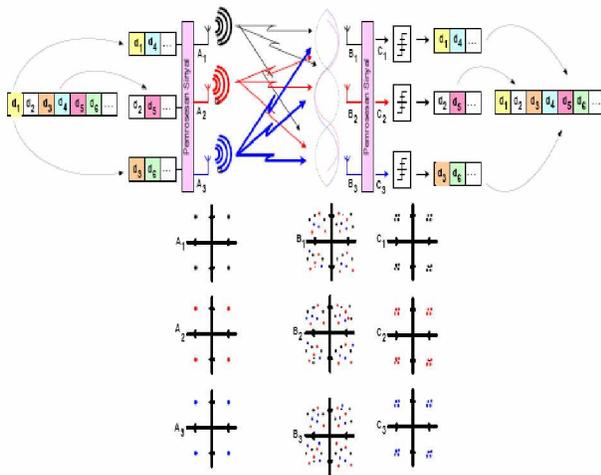
$$Y = \sqrt{\frac{E_s}{N_T}} HX + N$$

Y merupakan sinyal terima di N_R antenna *receiver* dalam suatu selang waktu tertentu. X merupakan sinyal yang dipancarkan oleh N_T antenna *transmitter* dalam suatu selang waktu tertentu. N merupakan sinyal noise

yang diterima dalam selang waktu tertentu. E_s adalah energi rata-rata total yang ada di transmitter selama periode simbol.

2.5.1 Spatial Multiplexing^[13]

Multiplexing gain dapat dicapai dengan menggunakan *spatial multiplexing* atau *space division multiplexing* (SDM) pada sinyal yang akan dikirim. Prinsip dasar dari *spatial multiplexing* ini yaitu simbol stream yang akan dikirim dipecah menjadi beberapa paralel simbol stream yang kemudian ditransmisikan secara simultan dengan bandwidth yang sama pada masing-masing antenna^[11]. Dengan adanya pengiriman data yang berbeda pada masing-masing antenna transmitter maka data yang dikirimkan menjadi lebih banyak.



Gambar 2.6 MIMO dengan skema *Spaxial Multiplexing*

Seperti terlihat pada gambar 2.11, masing-masing substream yang dikirimkan secara simultan oleh antenna transmitter di udara akan bercampur, sehingga direceiver diperlukan suatu teknik decoding untuk mendapatkan kembali masing-masing substream.

Pada *spatial multiplexing* terdapat beberapa macam receiver yang dapat digunakan untuk mendapatkan kembali sinyal yang dikirim. Dalam tugas akhir ini akan menggunakan *Zero Forcing* (ZF) serta *V-BLAST* sebagai receiver.

2.5.2 V-BLAST Receiver^{[11],[7],[9],[10]}

V_BLAST adalah algoritma pendeteksian non linear yang berdasarkan pada proses *spatial nulling* (ZF atau MMSE) yang dikombinasikan dengan *symbol cancellation* untuk mengurangi CCI serta meningkatkan performansi sistem.

Dalam V-BLAST diawali dengan proses *decoding* sinyal terkuat yang diterima oleh antenna-antenna receiver. Pada antenna layer pertama akan dilakukan proses pendeteksian sinyal yang terkuat dari semua sinyal yang diterima. Sinyal terkuat yang telah terdeteksi tersebut kemudian akan dikurangkan atau dihapuskan dari vektor sinyal terima. Proses selanjutnya adalah pencarian kembali sinyal terkuat dari layer

berikutnya serta penghapusan sinyal terkuat tersebut. Proses ini akan berulang terus sebanyak jumlah antenna transmitter (M).

Pada proses deteksi v-blast, zero forcing (ZF) dan minimum mean square error (MMSE) digunakan untuk menentukan *nulling matrix* ($w(k)$)^{[9][8]}.

- *Zero Forcing* (ZF)

$$w(k) = H^* = (H^H H)^{-1} H^H \quad (2.7)$$

- *Minimum Mean Square Error* (MMSE)

$$w(k) = (H^H H + \sigma_w^2 I)^{-1} H^H \quad (2.8)$$

Dalam proses deteksi vector sinyal terima, perlu asumsi sinkronisasi simbol. Misalkan $a = [a_1, a_2, \dots, a_M]^T$ menyatakan vector sinyal yang dikirim, maka vector sinyal yang diterima adalah

$$r = H a + v$$

$$(2.9)$$

dengan : H = fungsi transfer kanal matriks

v = vector noise yang komponennya terdistribusi

Gaussian

Jika urutan vector symbol diterima merupakan komponen vector symbol a, yang dimisalkan sebagai $S = \{k_1, k_2, \dots, k_M\}$. Maka proses deteksinya dapat dijelaskan sebagai berikut :

1. *Ordering*

Pada tahap ini akan dilakukan proses untuk mendapatkan *nulling vector* w_{k1} . *Nulling vector* tersebut didapatkan dari matriks $w(k)$ yang memiliki jarak Euclidian yang paling kecil.

2. *Nulling*

Masing-masing sub-deretan secara bergantian diestimasi sebagai sinyal yang diinginkan (sinyal yang terkuat), sedangkan sinyal yang lainnya (sinyal yang lebih lemah) dianggap sebagai sinyal interferensi, yaitu :

$$y_{k1} = w_{k1} r$$

dengan y_{k1} : sub deretan data ke k_1

w_{k1} : vector *nulling*

3. *Slicing*

Sinyal yang telah diestimasi, dideteksi untuk mendapatkan bit-bit data, yaitu slice y_{k1} untuk mendapatkan \hat{a}_{k1} :

$$\hat{a}_{k1} = Q(y_{k1})$$

dengan $Q(\cdot)$: operasi kuantisasi yang sesuai dengan konstalasi yang digunakan.

4. *Cancellation*

Sinyal interferensi dari komponen vektor sinyal 'a' yang sudah dideteksi dikurangkan dari vektor sinyal yang diterima. Asumsikan bahwa $\hat{a}_{k1} = a_{k1}$, sehingga vector sinyal terima yang baru (r_2) :

$$r_2 = r - \hat{a}_{k1} H_{k1}$$

dengan H_{k1} : kolom ke- k_1 dari H

Untuk komponen k_2, \dots, k_M dilakukan dengan cara yang sama seperti proses 1 sampai 4, sehingga diperoleh vektor sinyal terima, yaitu r_2, \dots, r_M . Dari vektor sinyal terima (r) tersebut maka dapat dideteksi sinyal yang dikirimkan oleh transmitter (a).

2.5.3 Zero Forcing (ZF) Receiver ^{[12][13]}

Algoritma *zero forcing* didasari oleh teknik konvensional *adaptive antenna array*, yaitu *linear combinatorial nulling*. Prinsip dasarnya adalah masing-masing *substream* diyakini sebagai sinyal yang diinginkan, sedangkan sinyal lainnya dianggap sebagai penginterferensi. *Nulling of interferers* dilakukan dengan memberikan pembobotan secara *linear* terhadap sinyal yang diterima, sehingga semua *interferers* dibatalkan. Untuk *Zero forcing*, *nulling of interferers* dapat dilakukan dengan memilih bobot vektor d_i , $i = 1, 2, \dots, M_T$, sebagai berikut:

$$d_i^T h_j = \begin{cases} 0, & j \neq i \\ 1, & j = i \end{cases}$$

di mana T melambangkan operasi *transpose* dan j menyatakan kolom ke- j dari matriks kanal H . Dari persamaan (2.3), *nulling of interferers* melakukan proses pe-nol-an jika indeks bobot tidak sama dengan indeks antenna sinyal kirim.

Berdasarkan hal di atas, maka proses yang dilakukan adalah mencari vektor bobot yang memiliki indeks yang sama dengan indeks antenna kirim, dilakukan dengan mencari matriks D , seperti berikut :

$$\begin{aligned} D \cdot H &= I \\ D &= H^{-1} \end{aligned}$$

di mana D merepresentasikan *linear processing* di penerima. Baris ke- i dari D adalah sama dengan *transpose* pada vektor bobot ke- i dari d_i , dan I adalah matriks identitas. Jika H bukan matriks kuadrat, maka D adalah *pseudo-inverse* H .

$$\begin{aligned} D &= H^+ \\ D &= (H^* H)^{-1} H^* \end{aligned}$$

Di mana $*$ *transpose conjugate*, $+$ *pseudo inverse*. Sehingga \underline{s} dapat diestimasi,

$$\hat{\underline{s}} = D \cdot \underline{x} = H^+ \cdot \underline{y}$$

Dan masing-masing elemen \underline{s} ke- i dapat diestimasi menggunakan persamaan di atas:

$$\hat{s}_i = H_i^+ \cdot \underline{y}$$

di mana H_i^+ menyatakan baris ke- i dari H^+ dan \underline{y} adalah sinyal terima.

2.6 Kanal

Pada proses transmisi *indoor*, sinyal yang sampai ke *receiver* tidak hanya melewati satu jalur tetapi datang dari berbagai jalur (*multipath*). Sinyal-sinyal *multipath* tersebut mengalami pergeseran fasa

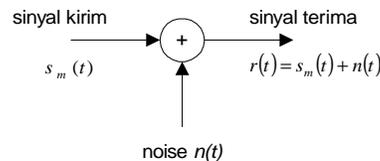
dan variasi waktu tunda yang selalu berubah-ubah. Pengaruh dari perbedaan waktu lintasan sinyal mengakibatkan pergeseran relatif fasa antar komponen fasa utama ber-*superposisi* dengan komponen fasa lintasan lain, hal ini akan mengakibatkan penguatan atau redaman sinyal, sehingga di *receiver* terjadi *fluktuasi* level daya terima. Apabila level sinyal terima berada di bawah nilai ambang batas *receiver* maka sinyal tersebut mengalami *fading*. *Fading* yang terjadi akibat adanya *multipath* biasa dinamakan *multipath fading*.

Pada sistem ini, karakteristik kanal diwakili oleh dua gejala yaitu adanya *noise* dengan distribusi *gaussian* (*Additive White Gaussian Noise*) dan *multipath fading*.

2.6.1 Kanal AWGN (Additive White Gaussian Noise)

Pada sistem telekomunikasi, *noise* adalah suatu fenomena alamiah yang selalu muncul tanpa bisa dihindari. *Noise* ini dimunculkan oleh komponen-komponen elektronik, penguat pada sistem komunikasi, serta kanal transmisi.

Pemodelan kanal *Additive White Gaussian Noise* dapat diperlihatkan pada gambar berikut:



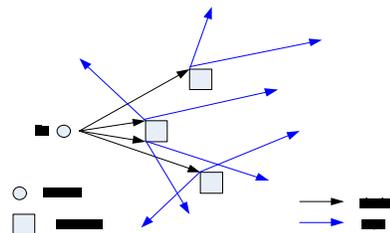
Gambar 2.7 Pemodelan kanal AWGN

Sinyal yang sampai di penerima setelah ditambahkan noise dapat dihitung dengan persamaan di bawah ini :

$$r(t) = s_m(t) + n(t), \quad 0 \leq t \leq T$$

2.6.2 Kanal Multipath Fading

Model kanal untuk sistem komunikasi *ultrawideband* didalam gedung mengikuti model Saleh-Venezuela (S-V model). Dimana pada S-V model dibedakan antara *cluster arrival rates* dan *ray arrival rates* atau dalam arti lain komponen *multipath*-nya datang dalam bentuk *cluster - cluster*.^[2]



Gambar 2.8. Clusters dan Rays

Secara definitif, *cluster* pertama diartikan sebagai *cluster* yang mulai pada waktu $t = 0$, dan *rays* berikutnya datang dengan rate yang terdistribusi secara poisson (dilambangkan dengan λ). Di mana amplitudo

dari setiap *ray* tersebut menurun secara dobel eksponensial seiring dengan meningkatnya *delay* jika dibandingkan dengan *ray* pertama.

Model kanal *multipath* ini dapat dirumuskan sebagai berikut^[16]

$$h(t) = \sum_{l=0}^L \sum_{k=0}^K \alpha_{k,l} \delta(t - T_l - \tau_{k,l})$$

Dimana :

$\alpha_{k,l}$: merupakan *multipath gain* (koefisien redaman) untuk cluster ke l pada path ke k

T_l : *Time of Arrival* dari cluster ke l

$\tau_{k,l}$: *Time of Arrival* dari ray ke k pada cluster ke l

Dengan :

$$\alpha_{k,l} = p_{k,l} \beta_{k,l}$$

$$p_{k,l} = \pm 1$$

$$\beta_{k,l} = 10^{(\mu_{k,l} + n_1 + n_2) / 20}$$

$$\mu_{k,l} = \frac{10 \ln(\Omega_0) - 10T_l / \Gamma - 10\tau_{k,l} / \gamma - \sigma^2 \ln(10)}{\ln(10) - 20}$$

Dimana :

Ω_0 : Merupakan daya dari *ray* pertama pada cluster pertama

$\beta_{k,l}$: *Power delay profile*

Γ : *cluster decay factor*

γ : *ray decay factor*

n_1 : variabel random, terdistribusi normal

n_2 : variabel random, terdistribusi normal

Dimana *time of arrival* dari setiap cluster dan *ray* pada setiap cluster-nya merupakan proses poisson yang saling bebas, yang dapat dirumuskan sebagai berikut^[11]:

$$p(T_l | T_{l-1}) = \Lambda \exp[-\Lambda(T_l - T_{l-1})], \text{ untuk } l > 0$$

$$p(\tau_{k,l} | \tau_{(k-1),l}) = \lambda \exp[-\lambda(\tau_{k,l} - \tau_{(k-1),l})], \text{ untuk } k > 0$$

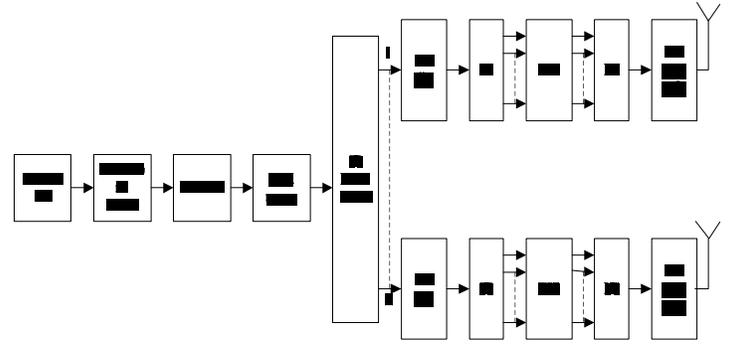
Λ : *cluster arrival rate*.

λ : *ray arrival rate*.

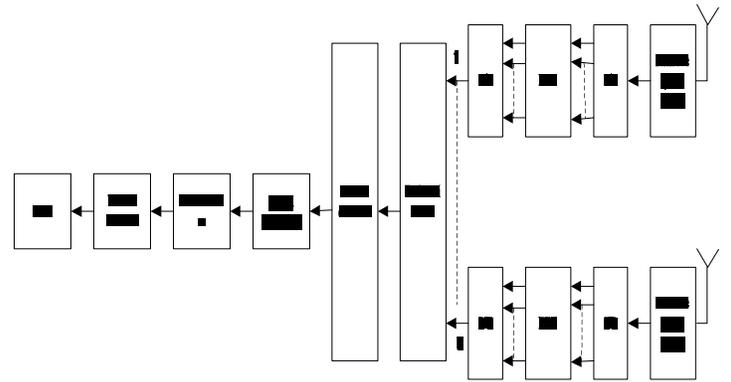
Waktu kedatangan dari cluster pertama $T_0 = 0$ pada kondisi *Line of Sight* (LOS) sedangkan pada kondisi *Non Line of Sight* (NLOS) terdistribusi secara eksponensial dengan intensitas Λ .

III. MODEL SIMULASI SISTEM

Pemodelan system OFDM UWB dapat dimodelkan seperti pada gambar di bawah ini:



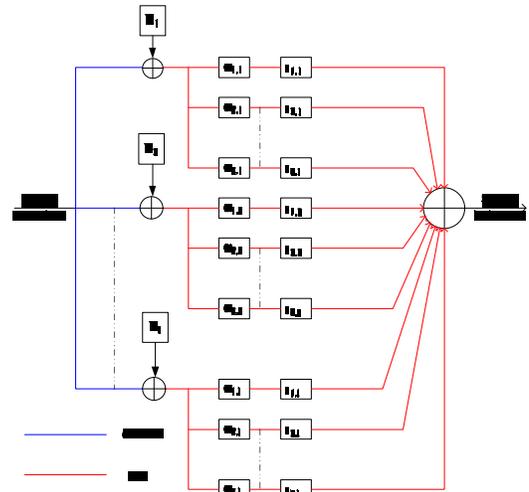
Gambar 3.1 Transmitter OFDM UWB



Gambar 3.2 Receiver OFDM UWB

3.2 Model kanal Saleh-Valenzuela

Gambar di bawah ini menunjukkan pemodelan kanal Saleh-Valenzuela:



Gambar 3.3 Model kanal Saleh-Valenzuela

Dimana setiap sinyal, pertama kali akan mengalami delay cluster yang dilambangkan dengan T_1, T_2, \dots, T_L . Setelah terdelay oleh delay cluster, setiap sinyal pada setiap path akan mengalami redaman yang dilambangkan dengan $\alpha_{k,l}$, dimana untuk setiap cluster dan setiap path, besar redamannya berbeda-beda. Setelah mengalami redaman,

sinyal tersebut akan mengalami delay lagi akibat panjangnya path yang dilaluinya, dilambangkan dengan $\tau_{k,l}$.

Dimana pada awal pemodelan ini, inialisasi parameter-parameter kanal dilakukan. Setelah inialisasi, kemudian cluster arrival time dan ray arrival time di generate secara random sejumlah ray dan cluster yang diinginkan.

IV. HASIL SIMULASI

Pada bab ini akan dilakukan analisis terhadap pengaruh penerapan MIMO pada performansi sistem OFDM UWB pada kanal indoor dengan pemodelan Salah-Valenzuela Model. Alasan digunakannya kanal *multipath* ini dikarenakan sistem UWB pada umumnya digunakan pada lingkungan *indoor* yang banyak sekali terdapat partisi. *Channel Model* (CM) yang digunakan ada 4 macam, yaitu:

1. CM1 dengan kondisi LOS dengan jarak Tx-Rx 0-4 meter
2. CM2 dengan kondisi NLOS dengan jarak Tx-Rx 0-4 meter
3. CM3 dengan kondisi NLOS dengan jarak Tx-Rx 4-10 meter
4. CM4 dengan kondisi NLOS dengan jarak Tx-Rx >10 meter

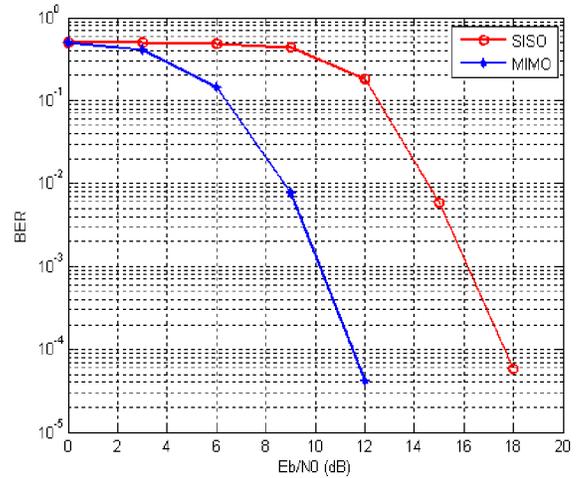
Hasil simulasi yang akan dianalisis menggunakan parameter yang mengacu pada salah satu proposal yang diajukan sebagai *standard physical layer* pada IEEE 802.15.3a untuk komunikasi data yang sangat besar untuk aplikasi WPAN dengan kondisi user diam^[4]. Analisis akan dilakukan pada jumlah antena, *receiver*, dan CM yang berbeda. Jumlah variasi antena yang akan digunakan adalah 2x2, 2x3, 2x4, 3x3, 3x4, dan 4x4.

Hal-hal yang akan dianalisis pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

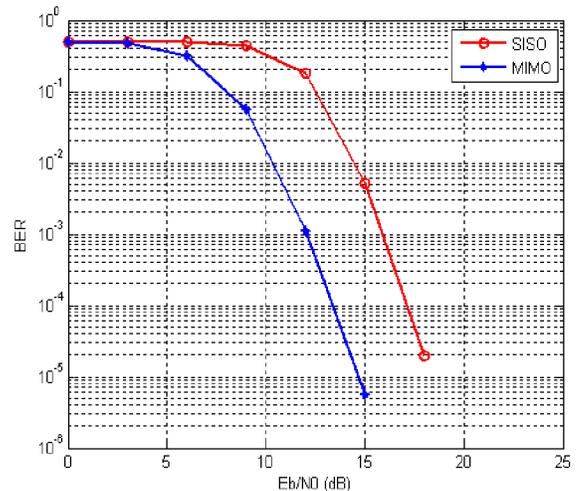
1. Perbandingan performansi sistem OFDM-UWB MIMO dan tanpa MIMO.
2. Perbandingan performansi sistem OFDM UWB MIMO dengan adanya variasi antena tranceiver.
3. Perbandingan performansi OFDM UWB MIMO dengan menggunakan ZF dan V-BLAST sebagai detektor.
4. Analisis performansi sistem OFDM UWB MIMO dengan pemodelan kanal Saleh-Valenzuela.

4.1 Perbandingan performansi sistem OFDM-UWB MIMO dan tanpa MIMO.

MIMO yang digunakan pada analisis ini adalah 2x4



Gambar 4.1 Performansi sistem OFDM UWB MIMO dan tanpa MIMO pada kondisi LOS (CM1)



Gambar 4.2 Performansi sistem OFDM UWB MIMO dan tanpa MIMO pada kondisi NLOS (CM2)

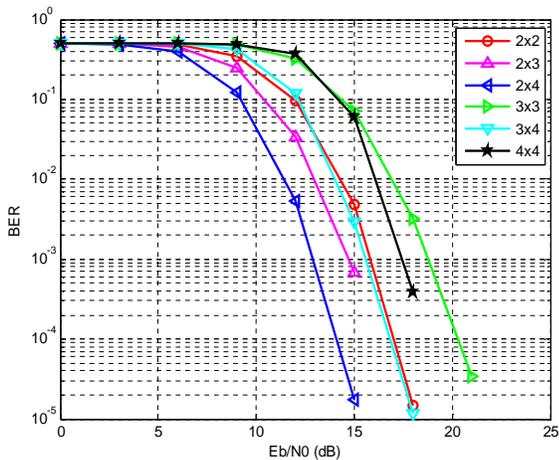
Pada gambar 4.3 dan 4.4 menunjukkan performansi sistem OFDM UWB MIMO dan tanpa MIMO pada kondisi kanal LOS (CM1) dan NLOS (CM2).

Dari data diatas dapat dilihat bahwa sistem OFDM UWB dengan menggunakan MIMO memberikan performansi yang lebih baik. Pada sistem OFDM UWB MIMO untuk mencapai BER 10⁻³ membutuhkan daya sebesar 10 dB dan 12 dB pada kondisi LOS dan NLOS. Sedangkan pada sistem OFDM UWB tanpa MIMO membutuhkan daya sebesar 16 dB dan 16,3 dB untuk mencapai BER 10⁻³ pada kondisi LOS dan NLOS.

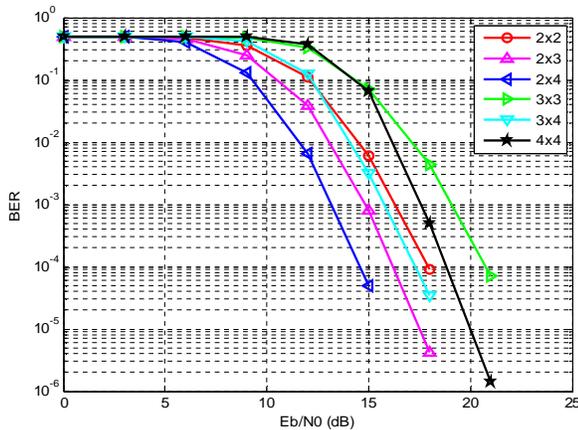
Hal ini dikarenakan pada sistem MIMO, sinyal informasi ditransmisikan secara paralel melalui beberapa kanal yang *independent*. Pada kanal propagasi, apabila salah satu sinyal mengalami fading terburuk, maka masih ada kanal sinyal yang lain yang diharapkan tidak terkena fading, sehingga keadaan sinyal masih bagus saat sampai di

penerima. Hal ini dapat dibuktikan dengan adanya perbaikan sebesar 6 dB untuk mencapai BER 10^{-3} maupun BER 10^{-4} pada kondisi LOS. Pada kondisi NLOS, sistem OFDM UWB MIMO memberikan perbaikan sebesar 4 dB dan 4,4 dB untuk mencapai BER 10^{-3} dan BER 10^{-4} bila dibandingkan dengan sistem OFDM UWB tanpa MIMO.

4.2 Perbandingan performansi sistem OFDM UWB MIMO dengan adanya variasi antenna transceiver.



Gambar 4.3 Performansi sistem OFDM UWB MIMO pada kondisi LOS (CM1)



Gambar 4.4 Performansi sistem OFDM UWB MIMO pada kondisi NLOS (CM2)

Pada gambar 4.3 dan 4.4 menunjukkan performansi sistem OFDM UWB MIMO dengan menggunakan V-BLAST receiver pada kondisi kanal LOS (CM1) dan NLOS (CM2).

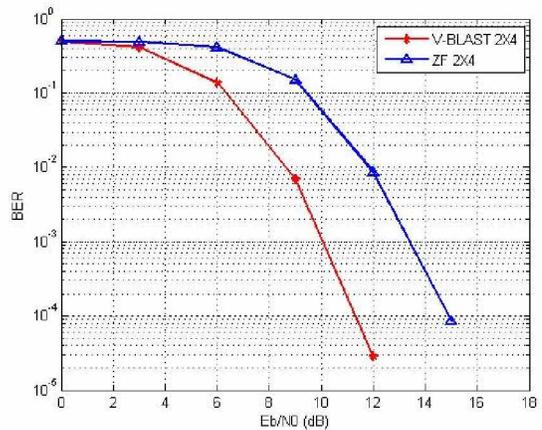
Dari gambar diatas dapat dilihat bahwa pada kondisi LOS performansi terbaik didapat dengan menggunakan MIMO 2x4. Untuk mencapai BER 10^{-3} pada kondisi kanal LOS, sistem dengan MIMO 2x4 membutuhkan daya sebesar 13dB. Sedangkan dengan MIMO 2x3 dan 3x4 membutuhkan daya sebesar 14,8 dB dan 15,5 dB. Untuk MIMO 2x2, 3x3, dan 4x4 membutuhkan daya sebesar 15,7 dB, 18,5 dB dan 17,5 dB. Hal ini dapat dilihat adanya perbaikan penggunaan daya sebesar 1,8dB

pada MIMO2x4 bila dibandingkan dengan jumlah antenna 2x3 dan sebesar 2,5dB bila dibandingkan dengan jumlah antenna 2x2.

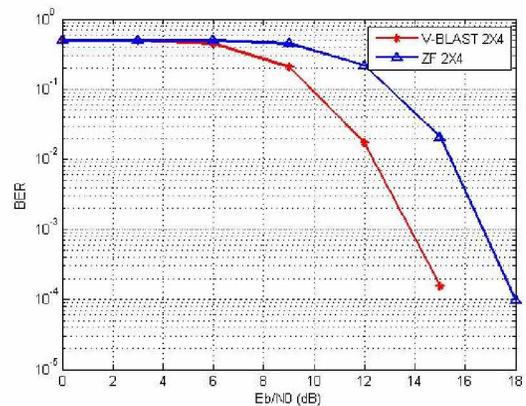
Pada kondisi kanal NLOS, tidak terlalu berbeda dengan kondisi LOS. Performansi terbaik didapatkan dengan menggunakan MIMO 2x4, lalu diikuti oleh sistem dengan menggunakan MIMO 2x3, 3x4, 2x2, 4x4, dan 4x4 untuk mencapai BER 10^{-3} dan 10^{-4} .

Dari data diatas dapat dilihat bahwa sistem OFDM UWB dengan MIMO 2x4 memberikan performansi yang lebih baik dibandingkan dengan yang lain. Hal ini dikarenakan sistem dengan MIMO 2x4 memiliki level diversitas yang paling tertinggi. Hal ini membuat sistem OFDM UWB dengan MIMO 2x4 memiliki *diversity gain* yang paling besar. Semakin besar jumlah antenna receiver maka semakin besar pula sinyal yang diterima. Sinyal-sinyal yang ditangkap oleh receiver ini dapat dikombinasikan untuk mendapatkan sinyal yang dikirimkan oleh transmitter dengan tingkat keakuratan yang lebih tinggi.

4.3 Perbandingan performansi OFDM UWB MIMO dengan menggunakan ZF dan V-BLAST sebagai MIMO detektor.



Gambar 4.5 Perbandingan performansi V-BLAST dan ZF pada kondisi LOS



Gambar 4.6 Perbandingan performansi V-BLAST dan ZF pada kondisi NLOS

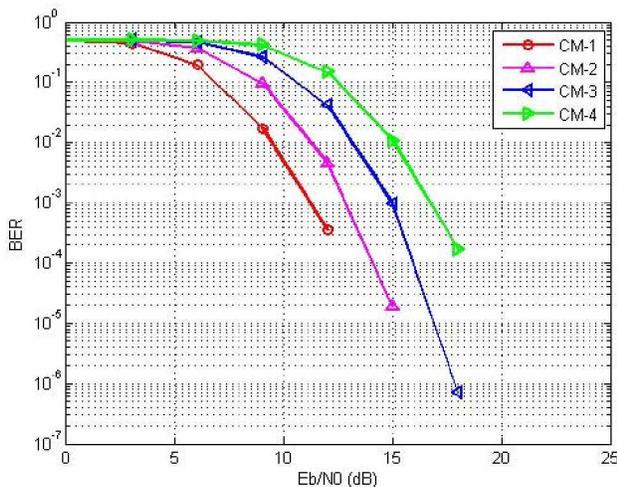
Dari gambar 4.5 dan 4.6 diatas menunjukkan performansi sistem OFDM UWB MIMO dengan menggunakan dua jenis detector, yaitu ZF dan V-BLAST pada kondisi kanal LOS dan NLOS.

Pada analisis ini menggunakan dua antenna transmitter dan empat receiver. Dapat dilihat dari data diatas bahwa untuk mencapai BER 10^{-3} pada kondisi LOS dengan menggunakan V-BLAST membutuhkan daya sebesar 10 dB dan dengan ZF membutuhkan daya sebesar 13,6 dB. Hal ini menunjukkan adanya perbaikan performansi sebesar 3,6 dB dengan menggunakan V-BLAST.

Pada kondisi NLOS, tidak telalu berbeda dengan kondisi LOS. Untuk mencapai BER 10^{-3} , sistem OFDM UWB MIMO dengan menggunakan V-BLAST membutuhkan daya sebesar 13,8 dB dan dengan menggunakan ZF membutuhkan 16,9 dB. Hal ini menunjukkan adanya perbaikan performansi sekitar 3,1 dB.

Hal ini terjadi karena pada V-BLAST, proses recovery sinyal terima menggunakan metode *Successive Interference Cancellation* (SIC). Pada metode SIC, terdapat proses *ordering* untuk memilih sinyal dengan daya yang terbesar dari layer yang dideteksi. Hal ini dilakukan dengan memilih *nulling vector* dari *nulling matrix* yang didapat dari hasil estimasi kanal. *Nulling vector* ini didapat dengan memilih baris dari *nulling matrix* yang memiliki Euclidian norm yang paling kecil. Pada proses pendeteksian dengan menggunakan ZF, tidak terdapat proses *ordering* karena masing-masing *substream* diyakini sebagai sinyal yang diinginkan, sedangkan sinyal lainnya dianggap sebagai penginterferensi. Hal ini menyebabkan pendeteksian dengan menggunakan V-BLAST memiliki performansi yang lebih baik dibandingkan dengan ZF baik pada kondisi LOS maupun NLOS.

4.4 Analisis performansi OFDM UWB MIMO dengan pemodelan kanal Saleh-Valenzuela



Gambar 4.8 Performansi sistem OFDM UWB MIMO pada CM1, CM2, CM3, dan CM4.

Pada gambar 4.7 menunjukkan performansi sistem OFDM UWB MIMO pada kondisi kanal CM1, CM2, CM3, dan CM4.

Dari data diatas dapat dilihat bahwa pada sistem OFDM UWB MIMO mencapai performansi terbaik pada CM1. Pada kondisi kanal CM1, sistem OFDM UWB MIMO membutuhkan daya sebesar 11,2 dB untuk mencapai BER 10^{-3} . Pada kondisi kanal CM2 dan CM3 membutuhkan daya sebesar 13,2 dB dan 14,1 dB untuk mencapai BER 10^{-3} . Sedangkan pada kondisi kanal CM4, sistem ini membutuhkan daya sebesar 16,8 dB untuk mencapai BER 10^{-3} .

Hal ini dikarenakan pada kondisi kanal CM1 dimodelkan untuk kondisi LOS. Hal ini membuat sinyal yang ditransmisikan oleh transmitter langsung diterima oleh receiver sehingga kualitas sinyal terima masih dalam keadaan bagus. Untuk kondisi kanal CM2, CM3, maupun CM 4 yang dimodelkan untuk kondisi NLOS dengan kondisi kanal *rich scattering*, membuat sinyal mengalami pemantulan dan peredaman. Dengan adanya pantulan dan peredaman membuat daya dari sinyal informasi mengalami penurunan. Hal ini menyebabkan penurunan kualitas sinyal sehingga performansi sistem ikut menurun untuk kondisi kanal CM2, CM3, dan CM4. Hal ini dapat dilihat dengan adanya penurunan performansi sebesar 1 dB untuk CM2, 3,8 dB untuk CM3, dan 5,6 dB untuk CM4 bila dibandingkan dengan CM 1 untuk mencapai BER 10^{-3} .

V. KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini diuraikan beberapa kesimpulan yang didapat berdasarkan analisis pangaruh penerapan MIMO pada sistem OFDM UWB pada pemodelan kanal Saleh-Valenzuela serta saran mengenai masalah yang dibahas sebagai kelanjutan tugas akhir ini.

5.1 KESIMPULAN

Dari hasil simulasi pada bab sebelumnya maka dapat disimpulkan :

1. Penerapan MIMO pada sistem OFDM UWB dapat memberikan perbaikan performansi yang cukup besar. Hal ini dapat dibuktikan dari hasil simulasi pada kondisi LOS dan NLOS terdapat perbaikan sebesar 6 dB dan 4,5 dB untuk mencapai BER 10^{-4} . Hal ini dikarenakan adanya *gain diversity* yang menjadi nilai lebih dari penerapan sistem MIMO.
2. Pemakaian antenna *receiver* dengan jumlah yang lebih besar dari antenna *transmitter* dapat memberikan perbaikan performansi pada sistem OFDM UWB MIMO. Hal ini dapat dibuktikan dengan adanya perbaikan performansi sebesar 2 dB dengan penggunaan MIMO 2x4 jika dibandingkan dengan MIMO 2x3 serta perbaikan sebesar 3,5 dB jika dibandingkan dengan MIMO 2x2 untuk mencapai BER 10^{-3} .
3. Penggunaan V-BLAST sebagai detektor memberikan performansi yang lebih baik jika dibandingkan ZF. Hal ini dapat dilihat dengan adanya perbaikan sebesar 3,6 dB pada kondisi LOS dan sebesar 3,1 dB pada kondisi NLOS untuk mencapai BER 10^{-3} .

- Penerapan sistem pada model kanal Saleh-Valenzuela, pada CM1 sistem mencapai performansi terbaik bila dibandingkan dengan CM2, CM3, dan CM4. Hal ini dapat dilihat dengan adanya penurunan daya sebesar 1 dB untuk CM2, 3,8 dB untuk CM3, dan 5,6 dB untuk CM4 bila dibandingkan dengan CM 1 untuk mencapai BER 10^{-3} .

5.2 SARAN

Berikut ini adalah beberapa hal yang dapat dilakukan untuk pengembangan lebih lanjut dari tugas akhir ini:

- Analisis performansi MIMO dilakukan dengan menggunakan jenis detektor yang lain seperti MMSE dan *maximum likelihood*.
- Analisis sistem OFDM UWB MIMO dilakukan pada level RF.
- Analisis performansi sistem OFDM UWB pada lingkungan kanal *outdoor* dan *mobile user*.

VI. DAFTAR PUSTAKA

- Bolcskei, Helmut and Arogyaswami J. Paulraj, “ *Multiple Input Multiple Output (MIMO) Wireless System*”, Coordinate Science Laboratory, University of Illinois.
- Nur’aini, “ Analisis Performansi Pengaruh Jumlah Subcarrier Pada Sistem Multiband OFDM UWB “, Tugas Akhir, STT Telkom, 2007.
- Budiman, Defri., “ Perbandingan Performansi Antara SC-FDE dan OFDM Pada UWB ”, Tugas Akhir, STT Telkom, 2007.
- Dr. Oh Soon Sin, Prof. Vahid Tarokh, dkk., “ *Parameter assumptions for the simulation of the proposed 802.15.3a PHYs* “, Working Group for WPANs, IEEE P802.15.3a, 2004.
- Schaffhuber, Dieter., “ *MIMO-OFDM System*”, Institute of Communication and Radio-Frequency Engineering Vienna University of Technologi.
- Gohar, Nasir D and Zimran Rafique, “ *V-BLAST: A Space Division Multiplexing Technique Providing A Spectral Efficiency Necessary For High Data Rate Wireless Networks* “, Ghulam Ishaq Khan Institute Of Engineering Sciences and Technology, 2003.
- Seethaler, Dominik., Harold Artes, dan Franz Hlawatsch., “ *Detection Techniques for MIMO Spatial Multiplexing Systems* “, Institute of Communications and Radio-Frequency Engineering, Vienna University of Technologi, 2005.
- Whu, Enrique Ulfe., “ *MIMO-OFDM Systems for High Data Rate wireless Network* “, Stanford University.
- I Gusti Agung Komang Diafari D. H., “ Analisa Unjuk Kerja Sistem V-BLAST pada Kanal Frekuensi Selektif Fading Dalam Ruangan Dengan Menggunakan Modulasi J-ary QAM “, Universitas Udayana.
- Duc Lai, Quoc-Hung, *Baseband Implementation and Performance Analysis of The Multiband OFDM UWB System*, University of Maryland, 2006.
- Saberina, Ebrahim and Ahmed H. Tewfik, “ *Orthogonal Frekuensi Division Multiplexing for Ultra Wideband Communication* “, Jhon Wiley and Sons, 2006.
- Edaswrika, “ Analisa Kapasitas MIMO-OFDM Transmitter Tahu Kanal dengan Metode SVD”, Tugas Akhir, STT Telkom, 2007.
- Zelst, A. Van, “ *Space Division Multiplexing Algorithm*”, *student member*, IEEE.
- Roy, Sumit, Jeff R. Foerster, V. Srinivaya, Dave G. Leeper, “ *Ultrawideband Radio Design: The Promise of High Speed, Short-Range Wireless Connectivity*”. 2004.
- Dasrath, Surujlal, dan Adam, “ *Implementation of An Orthogonal Frequency Division Multiplexing System*”, College of Engineering and Technologi, 2001.
- Foerster, Jeffrey R, Marcus P, dan Andreas F.M, “ *A Channel Model for Indoor Communication*”, Mitsubishi Electric Research Laboratory. 2003.